

**České vysoké učení technické v Praze**  
Czech technical university in Prague  
**Fakulta strojní**  
Faculty of mechanical engineering



**Bakalářská práce**  
Bachelor thesis

**Vliv předúpravy na přilnavost UV laků**  
Influence of pretreatment on the adhesion of UV varnish

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu na konci práce. Dále souhlasím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze dne 10.8.2016

.....

Novák Jakub

# **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Drašnarovi, Ph.D., za profesionální vedení a odbornou pomoc. Dále mému konzultantovi Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za poskytnutí prostředků a podkladů k vykonání mé praktické části práce.

## **Anotace**

V teoretické části bakalářské práce je popsána technologie laků vytvrditelných ultrafialovým světlem a jejich porovnání s laky konvenčními, dále pak problematika povrchové úpravy plastů a s ní doporučené předúpravy před lakováním. V praktické části je zkoumán vliv předúpravy na adhezi filmu z UV laku na vybraných plastech a popsány prováděné zkoušky, za účelem zjištění technologických vlastností povlaku. V závěru je zhodnocena možnost nahrazení úpravy ožehem progresivnější metodou modifikací povrchových vlastností plazmatem a s tím spojené technicko-ekonomické porovnání.

**Klíčová slova:** UV laky, předúprava, ožeh, plazma, adheze

## **Annotation**

Theoretical part of bachelor thesis describes the technology of varnishes curable by ultraviolet light, their comparison with conventional varnishes and also the issue with surface finish of plastics and recommended pretreatment before painting. In the practical part, influence of pretreatment on the adhesion of UV varnish film is analyzed and tests for determining the technological properties of the coating are described. The conclusion evaluates the possibility of replacing flame treatment with more progressive method of plasma modification of surface properties and associated technical-economical comparison.

**Key words:** UV varnishes, pretreatment, flame treatment, plasma, adhesion

# Obsah

1	Úvod .....	7
2	Nátěrové hmoty .....	8
3	UV vytvrditelné laky .....	10
3.1	Specifikace .....	10
3.2	Souhrn výhod a nevýhod UV laků .....	12
3.3	Složení a druhy UV laků .....	13
3.4	Použití UV laků .....	13
3.5	Vytvrzení .....	14
3.5.1	Ultrafialové záření .....	15
3.5.2	Zdroje UV záření .....	15
4	Přilnavost nátěru .....	16
5	Předúprava povrchu .....	17
5.1	Chemická předúprava – odmašťování .....	17
5.2	Fyzikální modifikace povrchových vlastností .....	18
5.2.1	Modifikace plazmatem .....	18
5.2.2	Úprava ožehem .....	21
5.2.3	Úprava ionizovaným vzduchem .....	22
6	Stanovení vlivu předúpravy na přilnavost UV laků .....	24
6.1	Příprava vzorků .....	25
6.1.1	Materiály na vzorky .....	25
6.1.2	Použité předúpravy .....	26
6.1.3	Zhotovování nátěru stříkáním .....	28
6.1.4	Vytvrzení .....	31
6.2	Zkoumání technologických vlastností vrstvy .....	32
6.2.1	Měření tloušťky laku .....	32
6.2.2	Mřížková zkouška .....	33
6.2.3	Zkouška odtrhem .....	36
6.3	Vyhodnocení zkoušek .....	37
6.3.1	Vyhodnocení tloušťky laku .....	37
6.3.2	Vyhodnocení mřížkové zkoušky .....	39
6.3.3	Vyhodnocení zkoušky odtrhem .....	40
7	Ekonomické zhodnocení .....	42

7.1	Lakování.....	42
7.2	Použité předúpravy.....	43
8	Závěr.....	44
	Citované zdroje .....	46
	Seznam obrázků.....	48
	Seznam tabulek .....	49

# 1 Úvod

Povrchová úprava tvoří velkou část přidané hodnoty výrobku. Výrobky se povrchově upravují z důvodů zkrášlení vzhledu, ochrany povrchu, zvýšení trvanlivosti a prodejnosti výrobku. V řadě technických aplikací není potřeba, aby měl materiál danou vlastnost jako celek, případně je to nevýhodné z ekonomického hlediska. Nátěrové hmoty se často nanášejí v tekutém nebo práškovém stavu a po zaschnutí zanechávají souvislý ochranný film s určitými vlastnostmi, mezi nimi právě přilnavost neboli adheze.

Nedílnou součástí povrchové úpravy je takzvaná předúprava lakovaného povrchu, která má za cíl adhezi, vzhled a mechanické vlastnosti povlaku zlepšit. Volíme ji v závislosti na podkladu, tvaru výrobku a vlastnostech laku. Doporučené předúpravy na plasty při aplikaci laků vytvrditelných ultrafialovým světlem (dále jen UV laky) jsou předúprava krátkým intenzivním ožehem a progresivnější metoda modifikace povrchových vlastností plazmatem. Průchodem dotovaného plynu plazmovým výbojem vnikají částice, které upravují vlastnosti povrchu. Plasty lakujeme, jelikož v řadě technických aplikací není vhodné zasahovat do jejich chemického složení. Při předúpravě plastu ožehem nebo plazmatem však dochází k ovlivnění jen tenké vrstvy na povrchu kvůli zlepšení hydrofility, smáčenlivosti a tím adheze laku.

Po nanesení laku přichází na řadu jeho vytvrzení. Při schnutí či sušení nátěrové hmoty vznikají časové prostoje, které se u konvenčních ředidlových laků pohybují v řádech hodin. Ty je nutné eliminovat na minimum vývojem nových laků a procesů lakování. UV laky dosáhnou vytvrzení za pár sekund. Sušení klasických laků bývá také energeticky náročné, kvůli velkému příkonu vysoušecích pecí. I tento problém UV laky úspěšně řeší díky speciálním UV lampám. Při optimalizovaném procesu lakování pro konkrétní podklad a tvar výrobku, dosahují dokonce srovnatelných mechanických vlastností ve srovnání s konvenčními laky a to se značnými ekologickými a ekonomickými benefity. V práci jsou představeny i další výhody a nevýhody této technologie.

## 2 Nátěrové hmoty

Nátěrové hmoty se dělí na barvy - jedná se o neprůhlednou hmotu nesoucí barevný pigment a laky - hmota průhledná, bezbarvá. Úkolem laku je vytvořit ochranný film odolný vůči vnějším vlivům a přitom výrazně nezměnit barvu nebo design ošetřovaného předmětu. [2] Existuje několik typu laků, které se dělí do základních skupin.

Tab. 1 Vlastnosti různých druhů laků [11]

Laky	Výhoda	Nevýhoda
S vysokým obsahem sušiny <sup>1</sup> – ředitelné rozpouštědlem	Výborné vlastnosti Snadné nanášení Uživatelé jsou seznámeni s látkami na bázi rozpouštědel	Obsahují rozpouštědla Dlouhá doba vytvrzení
Vodou ředitelné	Nízké VOC <sup>2</sup> Široký rozsah vlastností, technik nanášení	Slabá odolnost vůči chemickým vlivům Obtížné sušení Pěnění
Práškové	100% pevná látka Skoro ideální k životnímu prostředí	Méně možností použití Častá struktura pomerančové kůry Drahé Dlouhá doba vytvrzení
UV vytvrditelné	Rozebráno v bodě č.3.2	

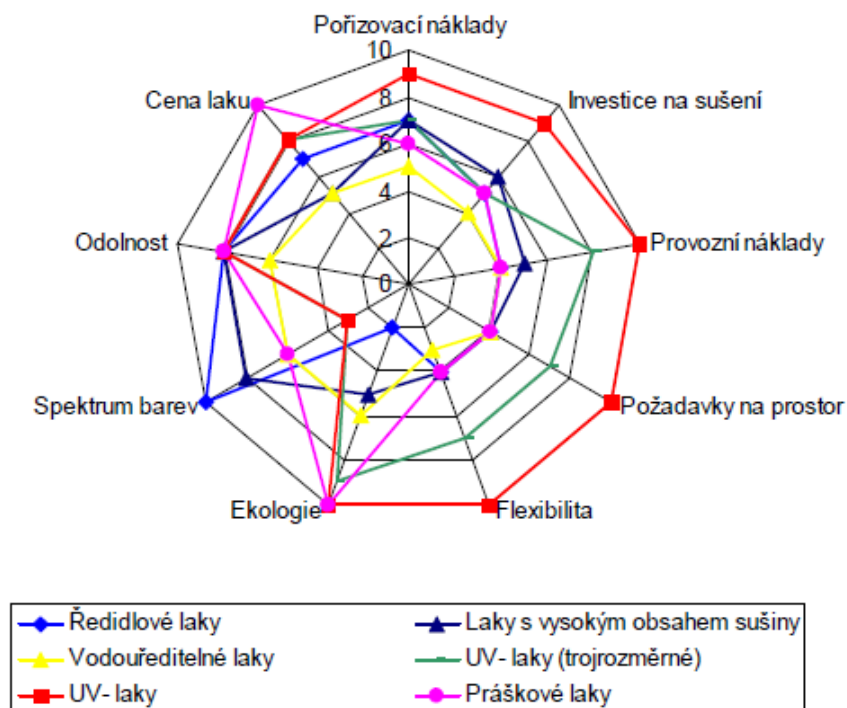
Vlastnosti podrobněji vyneseny na Obr.1

---

<sup>1</sup>Sušina – Filmotvorná látka

<sup>2</sup>Těkavá organická látka (VOC - volatile organic compound = podíl těkavých částic) VOC je organická sloučenina nebo směs organických sloučenin (s výjimkou methanu), která při teplotě 20°C (293,15 K) má tlak par  $\geq 0,01$  kPa nebo má odpovídající těkavost za konkrétních podmínek jejího použití, a která může v průběhu své přítomnosti v ovzduší reagovat (s negativním dopadem na životní prostředí) za spolu působení slunečního záření s oxidy dusíku (NOX) za vzniku fotochemických oxidantů. [8]





Obr. 1 Srovnání vlastností laků [12]

Při povrchové úpravě předmětů je nátěrový systém vybírán podle požadavků kladených na konečný výrobek – vzhled a dekorativnost povrchu výrobku, vlivy prostředí, které budou na výrobek působit, požadovaná životnost povrchové úpravy. Především pak dle podkladu, na který je nátěrová hmota aplikována. Mezi další faktory ovlivňující výběr nátěrového systému jsou technologické, ekologické a ekonomické požadavky:

- technologická kázeň při aplikaci
- množství VOC
- cena nátěrové hmoty (nejlépe za 1m<sup>2</sup> nátěrové plochy)
- pracnost
- potřebné časy zasychání [2]

Organické ochranné povlaky jsou nejrozšířenějšími prostředky používanými pro ochranu výrobků, především proti účinkům atmosféry a ostatních škodlivých vlivů. Vývoj v oboru organických povlaků a nátěrových hmot je zaměřen především na prodloužení životnosti nátěrových systémů, náhradu toxických těkavých látek a pigmentu a zkracování doby schnutí. [5]

## 3 UV vytvrditelné laky

Jsou nátěrové systémy tvrzené UV zářením a patří k nejrychleji rostoucí produktové oblasti průmyslu nátěrových hmot, díky jejich nesporným výhodám. Používají se již řadu let v dřevařském a grafickém průmyslu a díky kombinaci ekologických vlastností a ekonomičnosti nabývají stále většího významu i v jiných odvětvích.

### 3.1 Specifikace

#### Rychlost vytvrzení

Díky krátké době vytvrzení během několika sekund jsou UV laky vhodné k nanášení přímo ve výrobní lince, to znamená, že lakování se dá včlenit do rychlých taktovaných výrobních procesů. To je výhoda, kterou v současnosti nenabízí žádná jiná nátěrová technologie. Předměty nalakované UV laky lze vzhledem k vysoké mechanické a chemické odolnosti nátěru ihned po UV vytvrzení stohovat a balit, ale také mechanicky dále opracovávat. Tímto způsobem zajišťují UV laky vysokou rychlost zpracování, která šetří značné náklady na dopravu a manipulaci.

#### Ekologické a ekonomické výhody

Aplikace laků kombinují ekologické a ekonomické výhody, snižují emise a spotřebu energie. Jejich nespornou výhodou je možnost recyklovatelnosti přestříku. Důležité na konstrukci zařízení pro lakování je, aby mimo lakovací jednotku ani přímo v ní, se žádné UV paprsky nedostaly do prostoru nanášení laku, a byla tak zaručena jeho recyklovatelnost. UV lak, který neulpý na upravovaných dílech nepodléhá při použití 100% UV laků<sup>3</sup> prakticky žádné změně a lze ho proto znovu použít. Vzhledem k této recyklaci se pohybuje účinnost nanášení kolem 97%. Tím se při přechodu z laků na bázi rozpouštědel na laky vytvrzované UV zářením sníží spotřeba laku až na 1/3.

Moderní UV laky neobsahují zpravidla žádná těkavá rozpouštědla a splňují tak stále přísnější legislativní požadavky na snižování emisí VOC. UV laky bez

---

<sup>3</sup> 100% UV laky - Tyto laky obsahují reaktivní ředidla, která upravují viskozitu laku pro nanesení, ale při vytvrzování zpolymerují do filmu.

rozpouštědel nevyžadují žádné systémy ochrany proti výbuchu, takže klesají náklady, stejně tak se zjednodušují a snižují nároky a náklady na skladování, protože ani sklady nemusejí být vybaveny systémem ochrany proti výbuchu. K čištění zařízení se používají čisticí prostředky, které neobsahují těkavé organické látky.

### **Kompaktnost zařízení**

Při použití stoprocentních UV laků se dají realizovat malé kompaktní lakovací linky, jejichž prostorové nároky jsou ve srovnání s běžnými metodami lakování až o 90% nižší. Kompaktní technologie a rychlé vytvrzení umožňují rychlé spuštění zařízení v okamžiku, kdy jsou zapotřebí a opět okamžité vypnutí, aby se šetřily náklady v době, kdy se lakování nepoužívá.

### **Redukce zmetkovitosti**

Je možné pružně reagovat úpravami nastavení lakovací jednotky například na změnu lakovaných dílů, nebo při zjištění chyby v lakování provést potřebné úpravy, čímž se výrazným způsobem sníží počet zmetků oproti standardním zařízením.

### **Odolnost a mechanické vlastnosti**

Tento styl lakování skýtá také možnost dosažení vynikající úrovně požadovaných vlastností, jako je vysoká ochrana proti korozi, stálost při chemickém působení i vynikající mechanická odolnost. [13] [10]

### **Nevýhody**

Na stranu nevýhod přispívá limitovaná penetrace záření, která znemožňuje vytvrzení většího objemu laku. Omezená penetrace záření při vytvrzování pigmentovaných laků, kterých je menší škála odstínů. V závěru pak omezený výběr vybavení pro 3D vytvrzování.[11]

## 3.2 Souhrn výhod a nevýhod UV laků

### Výhody

#### Ekonomické

- Šetření energie (rychlé vytvrzení za pokojových teplot)
- Vysoká rychlost produkce (inline<sup>4</sup> provoz)
- Rychlé zhodnocení kvality
- Malé prostorové nároky – bez sušící pece, vytěkáací zóny
- Po vytvrzení okamžitě možné další procesy zpracování

#### Ekologické

- Složení bez ředidel
- Možnost recyklace nevytvrzeného laku, přestříku<sup>5</sup>
- Úspora energie

#### Výkonnostní

- Vysoká trvanlivost
- Univerzální aplikace
- Skvělá odolnost proti poškrábání a chemickým vlivům
- Odolnost proti otěru a ředidlům
- Výborná pevnost
- Stabilita při UV záření

### Nevýhody

- Malá barevná škála
- Drahá a náročná technika pro 3D vytvrzování
- Zpomalení vývoje s nástupem UV stabilizátorů
- Citlivost na vlhkost při vytvrzování
- Nedokonalé vytvrzení pigmentovaných laků (při tloušťce > 5μm) [11]

---

<sup>4</sup> Inline provoz – provoz ve kterém probíhá zpracování okamžitě v řadě za sebou.

<sup>5</sup> Přestřík – Lak který neulpěl na lakovaném prvku.

### 3.3 Složení a druhy UV laků

UV laky se zpravidla skládají z pojiv, reaktivních ředidel, aditiv. Své zastoupení mají také stabilizátory, v laku se vyskytují, aby lak nechtěně nereagoval na světlo a teplo. Pigmentované UV laky obsahují navíc pigmenty a plniva. Nejdůležitější částí složení jsou však fotoiniciátory, které reagují s ultrafialovým zářením a spustí proces vytvoření filmu – vytvrzení.

Z hlediska obsahu těkavých organických látek jsou vyráběny tyto UV laky

- UV laky na bázi organických rozpouštědel
- tzv. stoprocentní UV laky bez obsahu rozpouštědel
- UV laky na vodní bázi

Hlavním cíle vývoje jsou stoprocentní UV laky. Tyto laky obsahují reaktivní ředidla, která upravují viskozitu laku pro nanesení a při vytvrzování pomáhají k polymeraci do filmu. Uplatnění našly hlavně při protikorozi a chemické ochraně vůči různým látkám. Laky na vodní bázi vykazují výrazně nižší korozní odolnost a nacházejí použití především u dekorativních předmětů.[13] Laky lze dále rozdělit dle podkladu, pro který jsou určeny: dřevo, papír, stavební hmoty, kov, plast nebo dle jejich vodivosti.

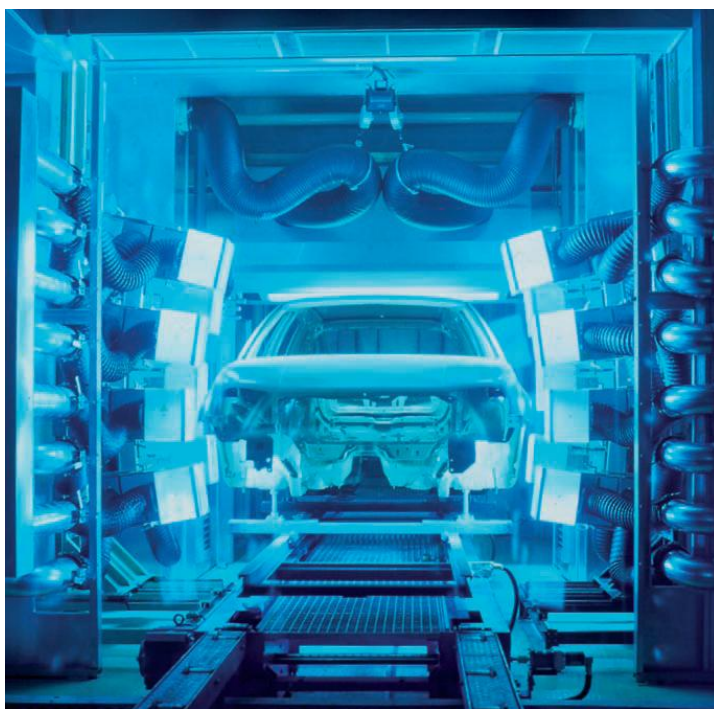
### 3.4 Použití UV laků

Se stále novým vývojem aplikací a zlepšováním UV laků, například: zlepšováním 3D vytvrzení, zvýšením odolnosti laku proti atmosférickým vlivům a zvýšením jeho pružnosti, přibýlo ke klasickým aplikacím:

- 2D tisku
- Dřevařský průmysl – parkety, nábytek, dveře
- Elektronika

mnoho nových možností:

- Automobilový průmysl – světlomety, palubky, plastové části, primer<sup>6</sup>
- Natírání svitků – ocel, hliník
- Dřevo v exteriéru – Rámy oken, panely
- Dekorativní plastové výrobky - květináče
- Tisk – inkoustový, flexotisk, hlubotisk
- Lepidla – citlivá na tlak, lepení DVD[11]



Obr. 2 - Tunelová vytvrzovací kabina[11]

### 3.5 Vytvrzení

Na rozdíl od vytvrzování infračerveným zářením zde nevzniká teplo. Vytvrzování nátěru závisí na tloušťce povlaku a dle ní zvolené vlnové délce UV záření, na intenzitě záření a na množství záření, které ozařovaná plocha absorbuje.[13]

---

<sup>6</sup> Primer – první vrstva laku. Hlavní funkcí je zarovnání nerovností, ochrana a zvýšení přilnavosti dalších možných vrstev.

### 3.5.1 Ultrafialové záření

Je elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší, než má viditelné světlo, avšak delší než má rentgenové záření, dosahuje vlnové délky 200 až 400 nm.

Tab. 2 Dělení ultrafialového záření [17]

Záření	Délka vlny (nm)	Značení
krátkovlnné	200 – 280	UV-C
středněvlnné	280 – 315	UV-B
dlouhovlnné	315 – 400	UV-A

Ultrafialové záření je využíváno v mnoha oblastech, mezi které patří např. biochemie, spektroskopie, spektrofotometrie, fototerapie, čištění vody, detekce požáru, dezinfekce, odborné posudky obrazů, analýza minerálů, zpracování jídla, příprava polymerů aj.[17] Různé vlnové délky dosahují různých hloubek nátěru. Záření o kratší vlnové délce než 300nm je absorbováno ve vrchní vrstvě nátěru a není schopné vytvrdit nátěrový film v celé tloušťce. [6]

### 3.5.2 Zdroje UV záření

Zdrojem jsou speciální nízkotlaké, středotlaké, nebo vysokotlaké zářiče, nejčastěji zabudované v tunelových vytvrzovacích komorách. Aby mohla být teplota v komorách v průběhu vytvrzovacího procesu regulována, jsou vybaveny ventilátory. Délka komory se určuje rychlostí pohybu dopravníku a potřebnou dobou ozáření výrobku.

**Nízkotlaké zářiče** jsou rtuťové lampy nebo trubice o příkonu 80 – 150 W. Tyto zářiče nevydávají téměř žádné teplo. **Vysokotlaké zářiče** jsou křemenné trubice s náplní rtuťových par a příkonem 2000 až 5000W. V porovnání s nízkotlakými zářiči mají větší výkon. Teplota zářičů je zhruba 400-700 stupňů celsia. Z tohoto důvodu je nutné zavést v komorách účinné chlazení vzduchem nebo vodou a chránit před účinky této teploty povrchově upravované předměty. Před účinky záření se musí chránit i pracovníci obsluhující zařízení. V poslední době se nejvíce využívá **středotlakých zářičů**, neboť produkují poměrně velký podíl záření v ultrafialovém pásmu. [6]

## 4 Přílnavost nátěru

Přílnavost nátěrů je možno definovat jako sílu, která přidržuje nátěr na podkladu a je rovna síle, kterou je třeba vyvinout na jeho odtržení. Síly působící proti přílnavosti mají svůj původ již při tvorbě filmu smršťováním zasychajícího povlaku a tím vznikajícím pnutím. Tendence po smršťení a zmenšení objemu je tím větší, čím je tlustší vrstva nátěru. Maximální tloušťka nátěru tedy není východiskem k dokonalé přílnavosti. U nátěrového systému o více vrstvách je negativním faktorem přílnavosti rozdílná tepelná roztažnost jednotlivých vrstev, včetně materiálu nosného předmětu. Sníženou přílnavost vykazují i nátěrové systémy, které jsou trvale vystaveny podmínkám, pro které nebyly určeny. Zvláště je to patrné při záměně vnitřních a venkovních nátěrových hmot. Plochy, určené k nátěrům, musejí být zbaveny nečistot, prachu, mastnoty a vlhkosti. Toto má rozhodující podíl na přílnavost, stejně jako úprava povrchu a s ní spojené nevyhovující povrchové napětí před nanášením nátěrových hmot. [3]

### Povrchové napětí a smáčenlivost

Při lakování plastů je problém s jejich povrchovým napětím, které způsobuje nesmáčenlivost ulpívající tekutiny na povrchu výrobků a tím špatnou přílnavost laků. Podstatou problému je povrchové napětí obou látek (materiálu a laku), které je dáno jejich fyzikálními vlastnostmi. Aby lak smáčel povrch a přitom byl spojen dostatečnými adhezními silami, musí být tato síla, nazývaná také povrchové napětí, u laku menší než povrchové napětí upravovaného předmětu. Pro srovnání: zatímco kapka vody se po skle dokonale rozteče, kapka rtuti si udrží tvar, protože její povrchové napětí je větší než napětí skla, olej se nemísí s vodou a voda nesmáčí mastné povrchy atd. Naopak přísady smáčedel, např. detergentů a tenzidů do vody způsobí, že voda smáčí i povrchy mastné.

Čím je povrchové napětí laku nižší, tím účinněji se nátěrová vrstva smáčí a vyhlazuje. Některé materiály, u kterých lak nenarušuje povrch a musí držet pouze vlastní adhezí, nelze lakovat vůbec, vzhledem k jejich hodnotě smáčenlivosti. Ve většině případů ovšem není vhodné zasahovat do vlastností nátěrové hmoty, proto se osvědčil a v praxi je nejvyužívanější způsob zvyšování povrchového napětí plastového dílce vhodnou předúpravou. [19]



## 5 Předúprava povrchu

Nedílnou součástí povrchových úprav je takzvaná předúprava upravovaného povrchu, která má za cíl zlepšit adhezi, vzhled, odolnost a životnost laku. Způsob předúpravy je volen podle materiálu, tvaru dílu a zvoleného laku. Bakalářská práce se zabývá odmašťováním, ionizací a hlavně doporučenou modifikací povrchových vlastností polymerních<sup>7</sup> materiálů- krátkým, intenzivním ožehem plamenem nebo plazmou.

### 5.1 Chemická předúprava – odmašťování

Odmašťování je souhrnný název pro odstraňování všech druhů ulpělých nečistot z povrchu materiálu, které jsou k povrchu vázány buď fyzikální adsorpcí<sup>8</sup> - látky tukového charakteru, adhezními silami – jemně rozptýlené anorganické nečistoty, prach, kovové třísky, soli nebo jiné chemické látky. Společně s čištěním jsou vytvořeny předpoklady pro kvalitní přilnavost barvy na povrch dílce. Odmašťování je prováděno mnoha způsoby, které se i vzájemně kombinují. V práci jsou uváděny nejpoužívanější způsoby odmašťování:

#### Alkalické odmaštění

Alkalické odmašťování používá nejčastěji hydroxid sodný, nebo uhličitán sodný ve spojení se smáčedly (tenzidy) při koncentracích do 10% účinných látek a teplotě 40-70°C po dobu 1-20 minut (závisí na stupni znečištění podkladu). Mastnota v roztocích zmýdelňuje a má snahu se usazovat na povrchu, ze kterého je nutné ji odstranit. Účinnost odmašťování snižuje tvrdá voda, která se nejčastěji upravuje fosfáty. Při odmaštění ponorem je důležité zajistit účinné proudění kapaliny při postřiku, aby se netvořila pěna. Po alkalickém odmašťování následuje oplach demineralizovanou vodou. [19] [23]

---

<sup>7</sup> Polymer - je makromolekula sestávající z molekul jednoho nebo více druhů atomů. Polymery se odlišují řetězcovou strukturou jejich molekul, tj. dlouhá lineární řada vzájemně spojených atomů nebo skupin atomů představující strukturní motiv.

<sup>8</sup> Adsorpce - hromadění plynné nebo rozpuštěné látky (adsorbátu) na povrchu jiné látky

## **Odmaštění organickými rozpouštědly**

Principem je rozpouštění mastnot, čímž vznikají jejich roztoky, které jsou regenerovány destilací. Tím je možné opětovně použít rozpouštědlo. Dnes jsou používány různé typy rozpouštědel, od technického benzínu, který ve spojení s čistící textilií je ne příliš účinný (mastnota se rozmazává po výrobku) a velmi neekologický, přes halogenované uhlovodíky užívané v mycích stolech, až po uzavřené systémy parních odmašťovacích zařízení, kde páry odmašťovadla kondenzují na výrobku a strhávají mastnotu. [19] [23]

## **5.2 Fyzikální modifikace povrchových vlastností**

Modifikace povrchu pevných látek je využívána za účelem změny povrchových vlastností materiálu. V mnoha aplikacích se nevyplatí zasahovat do vlastností celku. Na rozdíl od typických předúprav mechanicky nenarušujeme povrch, ani jej nečistíme pomocí chemických prostředků. Vytvořením konkrétních funkčních skupin je možné modifikovat všechny druhy materiálů – gumu, sklo, keramiku, kovy, ale také kombinace kovových a nekovových povrchů (např. desky tištěných obvodů), kompozity (např. plasty vyztužené skleněnými vlákny) a jemné pórovité materiály. Práce se zabývá úpravou plastů, které lze upravovat v jejich finálním tvaru výrobku, nebo již jako polotovar v podobě granulátu či prášku. Specifická vlastnost plastů je, že mají tendenci k návratu do původního stavu a to nejenom tvarového, ale také v oblasti hodnoty povrchového napětí tzn. že povrchové napětí se po úpravě pomalu vrací ke své původní hodnotě.[1][4]

### **5.2.1 Modifikace plazmatem**

Podstata modifikace spočívá ve vytváření aktivních částic (ionty, excitované atomy, radikály), které vznikají průchodem dotovaného plynu plazmovým výbojem a jsou foukané na upravovaný povrch. Různými plyny nebo jejich směsí lze vytvořit různé částice. Ty pak mohou vytvářet vrstvy, vyvolávat chemické reakce nebo se jich aktivně účastnit. Částice vzniklé ve výboji způsobují reakci na povrchu polymeru, kde dochází k navázání nových funkčních skupin na jeho řetězec. Mění se tedy chemická struktura povrchu částic z nepolární na polární. [1]

V procesu mohou probíhat až 4 části:

- Fyzikální adsorpce na povrchu – nastává prakticky u všech kombinací materiálu a plynu. Adsorpční energie není velká a umožňuje migraci částice po povrchu
- Chemická adsorpce – je formována chemická vazba mezi atomy povrchu a částicí
- Absorpce částice vně materiálu
- Rekombinace – elektricky nabitých částic na povrchu[24]

Výsledným efektem je změna hydrofobního<sup>9</sup> materiálu na hydrofilní. Dále požadovaná změna povrchové energie projevující se například zvýšením smáčenlivosti a disperze materiálu. Díky plazmovým výbojům lze povrch výrobku neutralizovat od elektrostatického náboje, kvůli přitahování nečistot. Dále jej vyčistit od tuků a mastných kyselin a i tímto způsobit zlepšení adhezních vlastností polymerů k jiným materiálům a lakům.[1] K modifikacím polymerních povrchů se převážně používá studená plazma, jelikož polymery nejsou schopné snést extrémně vysoké teploty a při úpravě pomocí studeného plazmatu teplota nepřekračuje 100°C. [22]

## **Lakování**

Materiál aplikovaný na modifikovaný povrch, musí být přizpůsoben povrchu a je nutné zohlednit výrobcem nátěrové hmoty doporučené minimální hodnoty povrchového napětí. Nanesení laku je nejlépe provést okamžitě po modifikaci. Pokud to není možné je vždy před dalším zpracováním nezbytné zjistit aktuální stav aktivace měřením povrchového napětí. Trvanlivost aktivace závisí na mnoha faktorech, jako jsou podmínky skladování, složení materiálu. Pokud je povrchové napětí vyhovující, neměly by povrchy být před lakování či lepením dále upravovány například mytím.[7]

## **Použití**

V dnešní době je takto možné účinně upravovat i složité trojrozměrné tvary materiálů dokonce i s různými drážkami a malými dutinami stejně jako široké ploché povrchy. Zařízení je kompaktní a snadno se integruje do výrobních linek. Aplikace plazmatu pomocí tryskových systémů skýtá široké možnosti uplatnění. Mimo laboratoře

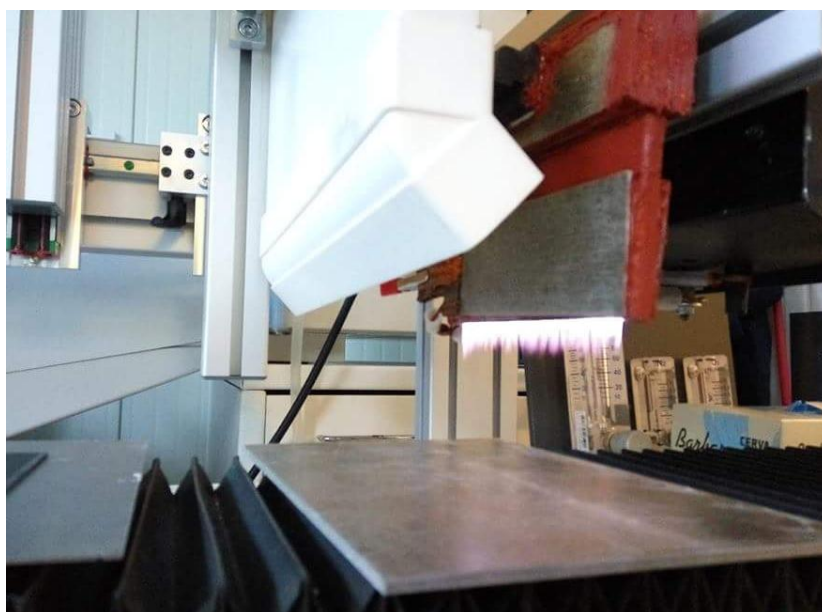
---

<sup>9</sup> Hydrofobní - povrchu neinteragující s vodou

fyzikálního a chemického zaměření naleznou uplatnění v některých pokročilých technologiích polovodičového průmyslu, farmacii, zdravotnictví, mikroelektronice, v oboru materiálového inženýrství, v chemickém a strojírenském průmyslu. [1] Na povrchy předupravené plazmatem se aplikují lepidla, povlaky, inkousty, barvy aj., přičemž takto vytvořený spoj je spolehlivý a dlouhodobý, v některých faktorech lepší než při tradiční předúpravě povrchů.[4]

## Plazma

Plazma je soubor nabitých a neutrálních částic v různých kvantových stavech (elektrony, ionty, excitované stavy, neutrální atomy, molekuly). Poprvé byla pozorována v roce 1879 Williamem Crookesem. Plazma bývá někdy nazývána čtvrtým skupenstvím hmoty. Jeho chování se navenek nejvíc podobá plynu, od něhož se ale liší hlavně přítomností volných nosičů náboje. Je schopné jako celek svými projevy generovat elektrická magnetická pole a na taková pole také reagovat. Plazma není v přírodě ojedinělý jev. Až 99% celkové vesmírné hmoty se nachází právě v tomto skupenství. Jedná se hlavně o hvězdy ale i celé galaxie. Na Zemi ale se vyskytuje méně často, jelikož je energeticky náročné ji udržet (vysoká teplota, tlak, záření). V přirozeném prostředí tedy nevydrží dlouho dobu, jsou to např. blesky a jiné výboje. [16] V technické praxi se pak se téměř výhradně jedná o nízkoteplotní plazmu, které bývá na rozdíl od vysokoteplotního plazmatu charakterizována nízkým stupněm ionizace.



Obr. 3 Plazmový oblouk

## **Jak plazma vzniká**

K vytvoření plazmatu je potřeba, aby se z molekul v plynné fázi uvolnily elektrony, anebo došlo k ionizaci. K ionizaci dojde, když molekula získá dostatečné množství energie, kterou přijme z vnějšího zdroje, nebo díky vzájemným srážkám se sousedními částicemi. Ke generaci a udržení plazmatu je potřebný zdroj energie. Kladné náboje střídavého proudu akumulované během jedné poloviny cyklu jsou bombardovány elektrony z následujícího cyklu. Avšak konvenčně používaná frekvence střídavého proudu 50 Hz není moc efektivní, protože doba potřebná k nabití izolantu je mnohem menší než polovina cyklu. 50-100kHz je frekvence postačující k poskytnutí trvalého výboje. Nad 500kHz (radiové frekvence) se poloviční doba cyklu zkrátí natolik, že elektron již zůstává uvnitř mezelektrodového prostoru, což zabraňuje ztrátám náboje ze systému. Proto je při této frekvenci potřebné k udržení výboje menší napětí. Tento mechanismus nevyžaduje, aby elektrody byly s plazmatem v kontaktu.[16]

## **Výhody a nevýhody využití v povrchových úpravách**

- Energetické částice v plazmatu se mohou účastnit chemických reakcí s vysokou aktivační energií, které by nebylo možné realizovat jinými způsoby.
- Nabité částice mohou mít vysokou energii, přesto může plazma existovat při teplotách, které nezpůsobují teplotní poškození materiálu. Lze tak upravovat materiály s nízkou teplotou tání.
- Reakce jsou ovládány pomocí regulovatelného elektrického pole.
- Změnou parametrů procesu je možné upravit vlastnosti v širokém rozsahu hodnot.

Nevýhodou je široká komplexnost plazmatu, která vyžaduje zkušenou obsluhu. Dále pak nutnost dotování plynu z lahví, které vylučuje in-line zpracování výrobků. [24]

### **5.2.2 Úprava ožehem**

Tato procedura je známější pod anglickým názvem flame treatment. Jedná se o úpravu a čištění povrchu ožehnutím plamenem, která zlepšuje smáčenlivost povrchu, tím adhezi laků a připravuje povrch také pro lepení. Plamen dotujeme zemním plynem a vzduchem.

Úpravu ovlivňuje velké množství faktorů, které je nutno kontrolovat:

- Průtok a použité plyny
- Vzdálenost mezi hořákem povrchem
- Pracovní rychlost
- Poměr mísení mezi plynem a vzduchem
- Typ hořáku a s ním spojená délka plamene
- Přebytek kyslíku v plameni [21]



Obr. 4 Smáčenlivost [19]

Metoda je vhodná především na tvarové díly, velké pracovní šířky a tlusté materiály. Vlastnosti po úpravě vydrží v podstatě neomezeně dlouho na rozdíl od plazmatické předúpravy, kde se povrchové napětí navrácí na původní stav v krátké době. [7]

#### **Průmyslové aplikace**

- Automobilový průmysl - povrchové úpravy a lepení automobilových nárazníků, přístrojových desek atd.
- Tisk – zlepšení přilnavosti při lakování, laminování
- Plasty – přilnavost víček, přilnavost laku, potahů kabelů
- Obaly – úprava před popisováním, značením
- Pekařství – možnost pečení [21]

### **5.2.3 Úprava ionizovaným vzduchem**

Jedná se o ofukování povrchu ionizovaným vzduchem k neutralizaci elektrostatického náboje a odstranění nečistot. Vlivem vysokého povrchového izolačního odporu polymerů dochází ke snadnému nabíjení statickou elektřinou (elektrostatický náboj se nestačí dostatečně rychle odvádět). Polymer může získat povrchový náboj přímým působením napětí nebo v důsledku tření s jiným povrchem. Přítomnost statické elektřiny může způsobit ulpívání materiálů, přitahování prachu, přitahování součástí vzájemně apod. Přitahováním prachu a nečistot ovlivňuje statická elektřina negativně kvalitu povrchové úpravy.

Problémy se statickou elektřinou polymeru je možné řešit již při jeho výrobě přidavkem antistatických přísad přímo do materiálu nebo látkami schopnými udržovat povrch materiálů navlhlý, a tedy i elektricky lépe vodivý, kvůli odvádění náboje. Dále pak zařízením na principu ionizace vzduchu, mezi které patří ionizační vzduchové ventilátory umístěné vedle dopravníku nebo ionizační pistole pro ruční neutralizaci a čištění povrchu dílu před lakování či lepením.[20]

V práci použitá ionizační pistole využívá stlačený vzduch k přenosu iontů na upravovaný materiál. Zařízení je připojeno ke zdroji, které vytváří vysoké napětí pro emitační hrot pistole. Zdroj obsahuje transformátor, který transformuje přírodní napětí na provozní napětí ionizačního zařízení. Povrch je ostřelován proudem vzduchu s pozitivními a negativními ionty a při kontaktu dochází k neutralizaci náboje. [26]

## 6 Stanovení vlivu předúpravy na přilnavost UV laků

### Úvod

V praktické části bakalářské práce byl společně s firmou *GALATEK a.s.* pro Centrum výzkumu povrchových úprav zkoumán vliv různých předúprav na adhezi po nanášení UV vytvrditelného laku na vybraných plastových materiálech. Speciálně pak různé příměsi plynů u plazmatické modifikace povrchu, v porovnání s klasickou předúpravou ožehem. Aplikace UV laků včetně předúprav a UV vytvrzení byla provedena ve výzkumném a vývojovém pracovišti firmy *GALATEK a.s.* v Ledči nad Sázavou.

Součástí pracoviště jsou v Česku málo dostupné technologie předúpravy povrchu, jako je modifikace plazmatem nebo ionizace. Dále je pracoviště vybaveno dvěma roboty pro nanášení nátěrových hmot a vytvrzování UV lampami. Pro nanášení všech druhů nátěrových hmot, včetně možnosti nanášení UV laků, je pracoviště vybaveno řadou aplikačních zařízení. Za účelem simulace kontinuálního provozu je pracoviště vybaveno podvěsným i podlahovým dopravníkem, s několika způsoby otáčení závěsů. Nedílnou součástí je laboratoř, vybavená nezbytnými přístroji k ověření základních parametrů provedených povrchových úprav.[10]

K porovnání vlivu na adhezi bylo vytvořeno 32 vzorků z osmi různých plastů. Vzorky byly mimo zmíněných předúprav upravené ještě základním odmaštěním a ionizovaným vzduchem pro neutralizaci statické elektřiny. Lakovány byly ruční pistolí komerčně dodávaným UV lakem určeným na plasty a vytvrzené UV lampou na robotickém rameni v izolované komoře. Ke zkoumání adheze laku byly v laboratořích Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT v Praze provedeny zkouška mřížková a zkouška odtrhem a s nimi spojené zjištění tloušťky povlaku pomocí magneticko-indukční metody, po přelepení pomocného terče na vodivý povrch.

### Cíl

Při úpravě plastů se používá a dosahuje nejlepších výsledků přilnavosti s předúpravou ionizací a ožehem. Práce má za úkol docílit srovnatelných nebo lepších výsledků předúpravou plazmatem, zhodnotit ekonomicko-technické hledisko povrchové úpravy materiálu a možnou náhradu ožehu touto progresivnější metodou.



## 6.1 Příprava vzorků

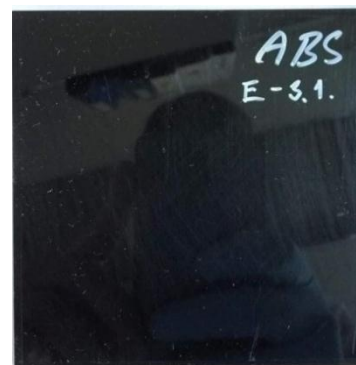
### 6.1.1 Materiály na vzorky

32 kusů destiček o rozměrech 100 x 100 mm vyrobené firmou *FREMACH* z různých plastových materiálů, kvůli možnému vlivu složení plastu na přilnavosti nátěru:

- ABS (černý)
- PC (transparentní)
- PP1 (bílý)
- PP2 (terakota)
- PA (šedý)
- PC/ABS (béžový)
- PBT/ASA (šedočerný)
- PS/PP (bílý)<sup>10</sup>



Obr. 6 Všechny vzorky



Obr. 5 Vzorek z materiálu ABS

Tab. 3 Značení vzorků

značení vzorků X-Y-Z.2	
X	materiál vzorku
Y	nátěrová hmota
Z	předúprava
.2	náhradní vzorek

příklad: PA-E-3.1 – vzorek z polyamidu, nátěrová hmota: UD70, předupraven: plazmatem s příměsí Ar-N<sub>2</sub> (viz.6.1.2), hlavní vzorek

---

<sup>10</sup> Zkratky polymerních materiálů a jejich směsí. ABS – akrylonitrilbutadienstyren, PC – polykarbonát, PP – polypropylen, PA – polyamid, PBT – polybutylen, PS – polystyren [20]

### 6.1.2 Použité předúpravy

Tab. 4 Použité předúpravy

sada	předúprava	číselné značení
1. sada vzorků (referenční vzorky)	odmaštění saponátem, oplach teplou vodou, odmaštění izopropanolem, ofuk ionizovaným vzduchem, ožeh	1
2. sada vzorků	odmaštění saponátem, oplach teplou vodou, odmaštění izopropanolem, ofuk vzduchem, plazmatická úprava s příměsí Ar	2
3. sada vzorků	odmaštění saponátem, oplach teplou vodou, odmaštění izopropanolem, ofuk vzduchem, plazmatická úprava s příměsí Ar-N <sub>2</sub>	3
4. sada vzorků	odmaštění saponátem, oplach teplou vodou, odmaštění izopropanolem, ofuk vzduchem, plazmatická úprava s příměsí Ar-O <sub>2</sub>	4



Obr. 7 Zařízení pro modifikaci plazmatem

Plazmatická předúprava byla provedena na experimentálním zařízení s plynulým posuvem vzorků regulovatelnou rychlostí a možností zvolení typu plynu a jeho množství přiváděného do plazmy (viz obr. 5).

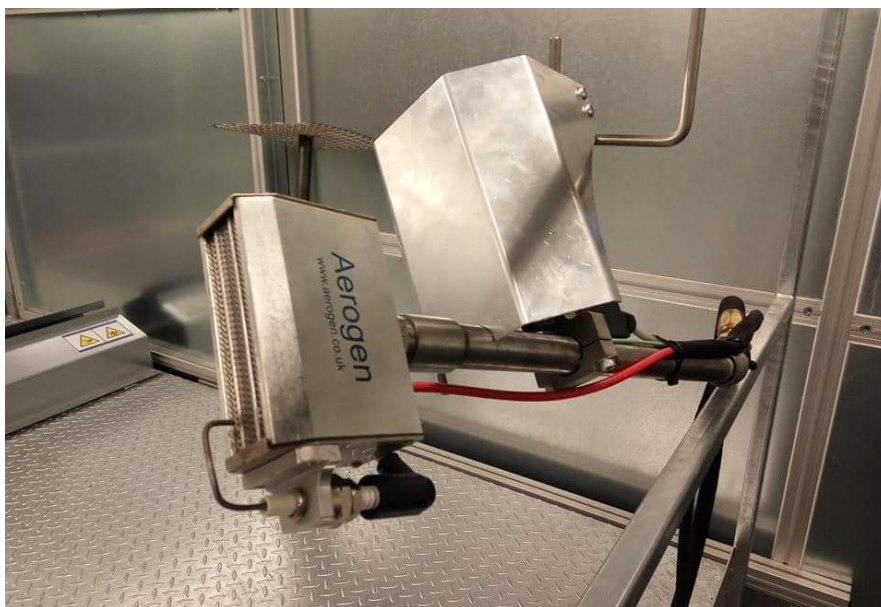
Tab. 5 Specifikace předúpravy plazmou

Rychlost posunu vzorků ( $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ )	20
Vzdálenost od dílce (mm)	5
<b>Průtoky plynů (<math>\text{l}\cdot\text{min}^{-1}</math>)</b>	
Ar	50
N <sub>2</sub>	0,3
O <sub>2</sub>	0,3

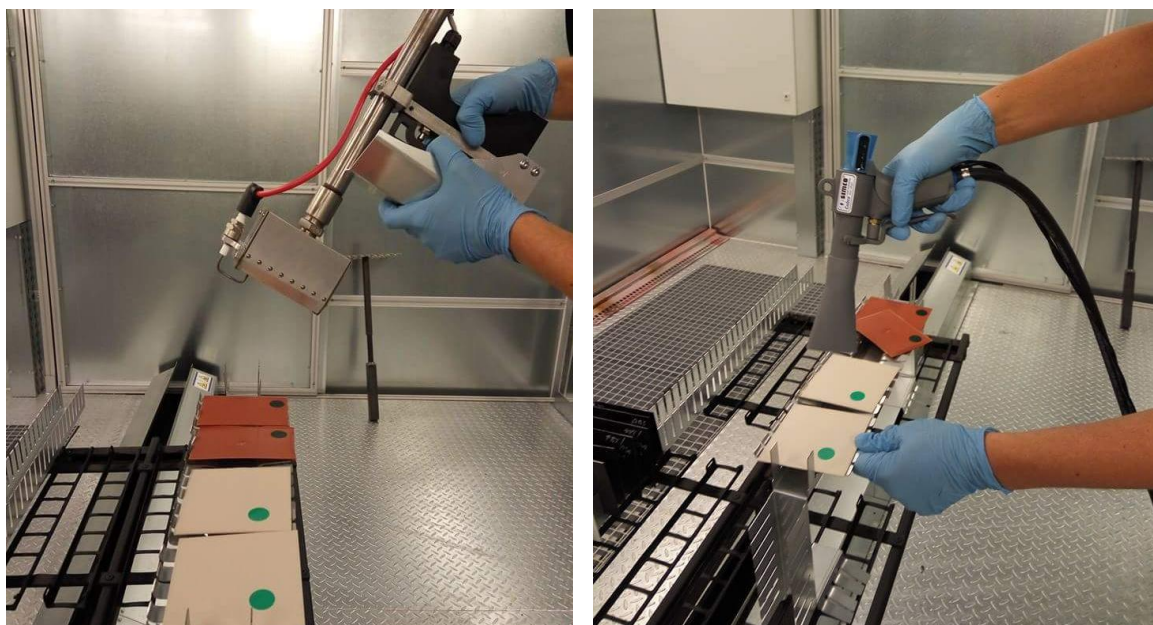
Pro ožeh byl použit ruční nástroj od firmy *Aerogen*, který zaručil konstantní poměr mísení přivedených plynů, a tím rovnoměrný plamen se stálými vlastnostmi po celé hlavici.

Tab. 6 Specifikace ožehu

Vzdálenost od dílce (mm)	50
<b>Průtoky plynů (<math>\text{l}\cdot\text{min}^{-1}</math>)</b>	
Zemní plyn	12
Vzduch	70-80



Obr. 8 Hlavice zařízení pro úpravu ožehem od firmy *Aerogen*



Obr. 9 Ožeh a úprava vzorků ionizační pistolí

Ofuk ionizovaným vzduchem, kvůli čistění a neutralizaci elektrostatického náboje před ožehem, byl prováděn ionizační vzduchovou pistolí *COBRA* od firmy *SIMCO* (Obr.7).

### 6.1.3 Zhotovování nátěru stříkáním

Nátěrová hmota se nanese stříkáací pistolí na určenou plochu. Rozprašovací vzduch musí být suchý, zbaven prachu, vody, oleje, olejové mlhy a má mít tlak 0,25 – 0,35MPa. Potřebné množství nátěrové hmoty se před nanášením zředí.

Záznam o zkoušce musí obsahovat tyto údaje:

- Název výrobce, druh nátěrové hmoty, označení podle technické normy nebo katalogového listu, datum výroby nátěrové hmoty.
- Datum a místo kde byl zkušební nátěr zhotoven.
- Způsob nanášení a podmínky při nanášení
- Druh a množství ředidla použitého k ředění
- Teplotu v místnosti a relativní vlhkost vzduchu při provádění laboratorních zkušebních nátěrů.
- Počet nátěrových vrstev, popř. nátěrový systém
- Tloušťku zaschlého nátěru
- Mimořádné okolnosti zjištěné při provádění nátěru, které mohou ovlivnit výsledky dalších technologických zkoušek. [6]

## Lakování

Aplikace UV laku a jeho vytvrzení bylo provedeno dle doporučení výrobce, aby bylo možné hodnotit pouze vliv předúpravy. Lak značen písmenem E, kvůli zjednodušení, při větším rozsahu prováděných prací. Specifikace laku v následující tabulce:

Tab. 7 Parametry laku

Všeobecné údaje	
Obchodní název přípravku	UV-VERSPIEGELUNGSLACK
Obchodní kód přípravku	UD 70-0000/2
Výrobce	Lankwitzer, spol s.r.o.
Barevný odstín	bezbarvý, transparentní
Technické údaje	
Hustota	cca. 1,08 g·ml <sup>-1</sup>
Obsah netěkavých složek	100%
Obsah organických rozpouštědel	0%
Objem pevných částic	cca. 927,0 ml·kg <sup>-1</sup>
Skladovatelnost	6 měsíců při +5 až +30 °C v orig. obalu
Složení	směs syntetické pryskyřice a reaktivního ředidla
Údaje o zpracování	
Možnosti zpracování	Tepelné vstřikování
Příprava materiálu	Řádně zamíchat
Doporučená tloušťka vrstvy	15 - 20 μm
Stříkácké parametry	
Tryska Tlak Teplota laku	0,3 – 0,5 mm 3,0 – 6,0 bar 85 °C
Vytvrzovací parametry	
Typ zářiče Výkon zářiče Vzdálenost UV zářiče	HG-Strahler 200 W 6-8 cm

Zdroj: [firma Lankwitzer, spol s.r.o.]





Obr. 10 Lakovací kabina



Obr. 11 Lakování vzorků vzduchovou pistolí

Tab. 8 Specifikace lakování

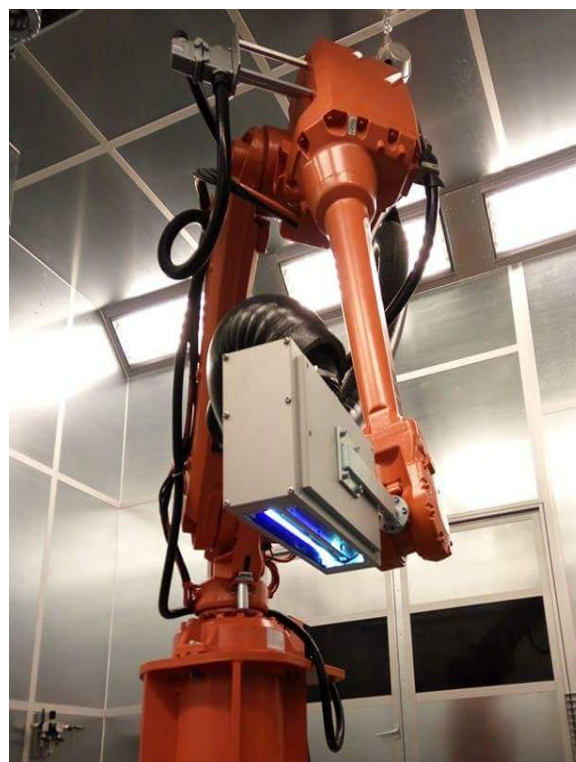
Použitá aplikační technika	ruční vzduchová pistole <i>Viseco-vario°C Paint</i> s horní nádobkou
Tryska (mm)	0,5
Teplota v místnosti (°C)	25
Způsob ředění laku	ohřevem (bez ředidla)
Datum zhotovení nátěru	20.5.2016
Teplota UV laku (°C)	65

Pokračování na straně 31

Hnací plyn	dusík
Teplota hnacího plynu (°C)	70
Zařízení pro ohřev	<i>Nitrospray Therm</i>
Doporučená tloušťka vrstvy (μm)	12-20
Doporučené vytěkání či sušení	bez vytěkání
Počet vrstev	1

#### 6.1.4 Vytvrzení

Vytvrzení bylo provedeno za podmínek, které byly vysledovány jako optimální při předchozích zkouškách aplikace UV laků s přihlédnutím k doporučeným parametrům laku v izolované vytvrzovací komoře UV lampou na robotickém rameni (viz. Obr 10). Konkrétní specifikace procesu vytvrzení v tabulce na straně 31.



Obr. 12 UV lampa na robotickém rameni

Tab. 9 Specifikace vytvrzení

Typ UV lampy pro vytvrzení	rtuťová
Rychlost pohybu UV lampy při vytvrzení ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	2
Nastavený výkon lampy	200 W
Vzdálenost lampy od vzorku (cm)	cca 7
Orientační intenzita záření měřená UV citlivými pásky ( $\text{mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	cca 600

## 6.2 Zkoumání technologických vlastností vrstvy

### 6.2.1 Měření tloušťky laku

Měření tloušťky laku na plastových (nemagnetických) materiálech bylo prováděno za pomoci zelených plastových terčů (viz. Obr 12) o tloušťce 80  $\mu\text{m}$ , přes které se v lakovně nanese povlak UV laku. Poté je bylo nutné ze vzorku odstranit a znovu nalepit na magnetický povrch. Tloušťka laku byla změřena i s tloušťkou terče, která se v závěru odečetla. Měření na vodivém podkladu bylo provedeno u vzorků použitých při mřížkové a odtahové zkoušce magneticko-indukční metodou za pomoci digitálního tloušťkoměru *Elcometer 456* s oddělenou sondou.[18] Princip snímání tloušťky touto metodou je založen na měření vzdálenosti sondy od feromagnetického podkladu, metodou měření intenzity magnetického pole.[25]



Obr. 13 Tloušťkoměr - *Elcometer 456*



Obr. 14 Terč nalepený na vodivý povrch kovové desky

### Ověření tloušťky terče

Bylo prováděno na laserovém konfokálním mikroskopu – *LEXT 3000* a poté dvěma tloušťkoměry – *Elcometer 456* a *Positector 6000*, kvůli ověření správnosti zvolené techniky měření. Mikroskop vygeneroval výškový profil v souřadnicích. Po jeho vynesení do grafu, bylo změřeno výškové převýšení povrchu štítku od podkladu.



## 6.2.2 Mřížková zkouška

Mřížková zkouška se používá k měření kvality přilnavosti k základnímu materiálu. Pro měření byla použita sada obsahující řezný nástroj, lupu, samolepící pásky a kartáč. Měření probíhalo v souladu s normou ISO 2409:2013.

### Řez mřížky

Mřížka se musí zvolit dle normy pro danou velikost tloušťky povlaku a tvrdosti materiálu, na kterém je povlak nanesený.

Tab. 10 Výběr mřížky [14]

Tloušťka nátěru [ $\mu\text{m}$ ]	Tvrdost podkladu	Rozestupy mezi řezy [mm]
0 - 60	tvrdý podklad	1
0 - 60	měkký podklad	2
61 – 120	měkký i tvrdý podklad	2
121 - 250	měkký i tvrdý podklad	3

Pro zkoušené vzorky byla zvolena vzdálenost řezných hran 2 mm – mřížka 12x12mm, která odpovídá tloušťce povlaku 0 až 60 $\mu\text{m}$  a je ji možné použít pro tvrdé i měkké podklady.

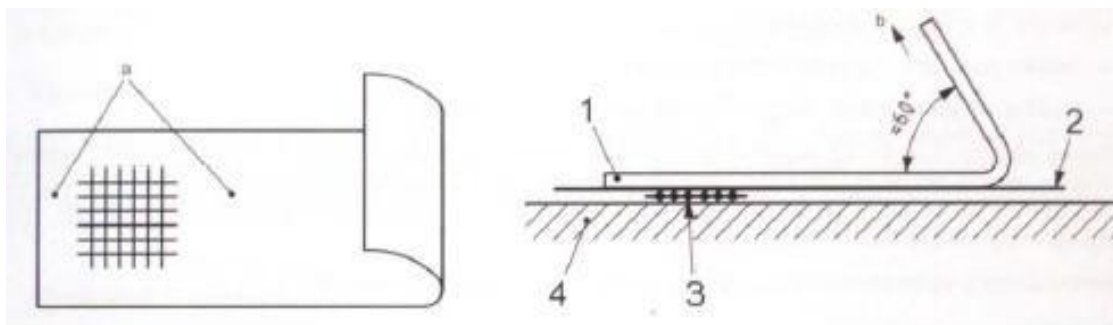
### Lepící páska

Pokud není dohodnuto jinak, je dle normy stanovena samolepící páska, jejíž přilnavost je mezi 6 – 10 N na 25 mm šířky. Tato páska musí být alespoň 50 mm široká.

### Postup zkoušky

Před provedením zkoušky musí být vzorek (4 viz obr. 13) řádně připravený. Vzorek musí být rovný a nezdeformovaný. Velikost vzorků musí být minimálně taková, aby na jeho ploše šlo provést měření vzdálené od okraje minimálně 5 mm. Dle normy ISO 2808 se na vzorku musí změřit tloušťka vytvrzeného povlaku, pro následné zvolení vzdálenosti řezných ostří. Řezný nástroj se drží kolmo k povrchu řezaného vzorku. Za stálého tlaku je veden řezný nástroj po zkušební vzorku. Tlak na nástroj musí být dostatečně velký, aby prořzl povlak (2) až na základní materiál. Poté je veden řez (3) kolmý na původní stejným postupem. Kolmost řezů zajistí vytvoření mřížkové oblasti.

Měkkým štětečkem je mřížková oblast očištěna, aby ve vzniklých spárách nezůstaly uvolněné části povlaku. Z pásy se kus odmotá a následně se odřízne kus. Střed pásy se umístí na střed mřížky tak, aby páska přibližně o 20 mm překrývala mřížkovou oblast. Páska (1) je v místě mřížky uhlazena (a) prstem pro zajištění dobrého kontaktu s povlakem. Do 5 minut po aplikaci je páska stržena tažením (b) pod úhlem co možná nejblíže  $60^\circ$  za 0,5 až 1 s. [14]

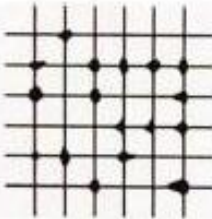
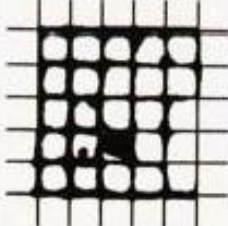

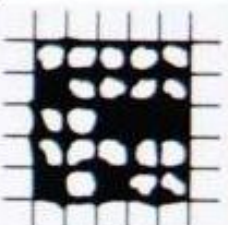


Obr. 15 Mřížková zkouška [14]

## Postup vyhodnocení zkoušky

Po odtržení pásky je možné zhodnotit rozsah poškození a zařadit jej do jedné z pěti klasifikačních tříd.

Tab. 11 Hodnocení mřížkové zkoušky [14]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem
0	Hrany řezů jsou zcela hladké, žádný čtverec mřížky není poškozen	—
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5%	
2	Povlak se odlupuje podél řezů anebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech, částečně nebo zcela, anebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15%, ale menší než 35%	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela anebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65%	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	—

### 6.2.3 Zkouška odtrhem

Odtrhová zkouška slouží pro měření kvality přilnavosti povrchu. Zkouška probíhala dle platné normy ISO 4624:2016.

#### Postup zkoušky

Nalepení odlakovaných a obroušených odtrhových hlavic se provede na odmaštěný, brusným papírem zdrsňený povrch za pomoci vhodného lepidla – v tomto případě: *Loctite Super Attak Power Flex*, které se následně nechá zaschnout po dobu 24 hodin. Je vhodné hlavici přitlačit natolik, že po jejích stranách vytéká lepidlo. Tím se eliminují nechtěné vzduchové kapsy pod hlavici. Poté se uskuteční řez kolem hlavice až na základní materiál, připevní odtrhoměr - *Elcometer 506* [27] a je proveden odtrh. Po odtržení zůstane na digitálním měřiči maximální hodnota napětí, potřebného pro odtrh hlavice. [15]



Obr. 17 Nalepení odtrhových hlavic



Obr. 16 Odtrhoměr - *Elcometer 506*

#### Postup vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení odtrhové zkoušky se skládá z odtrhové síly a popisu porušení. Odtrhová síla v MPa se nám zobrazí na displeji odtrhoměru. Charakter porušení je vyjádřen v procentuálním podílu porušení povlaku. [15]

Tab. 12 Hodnocení odtrhové zkoušky[15]

Značení	Popis
A	Kohézní <sup>11</sup> porušení v podkladu
A/B	Adhézní porušení mezi podkladem a první vrstvou
B	Kohézní porušení první vrstvy
B/C	Adhézní porušení mezi první a druhou vrstvou
n	Kohézní porušení n vrstvy mnohavrstvého nátěrového systému
n/m	Adhézní porušení mezi n a m vrstvou mnohavrstvého nátěrového systému
-/Y	Adhézní porušení mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Kohézní porušení v lepidle
Y/Z	Adhézní porušení mezi lepidlem a tělískem

## 6.3 Vyhodnocení zkoušek

### 6.3.1 Vyhodnocení tloušťky laku

#### Ověření tloušťky terče - měření tloušťkoměrem

Měření bylo provedeno 10x na 2 různých terčích, tloušťkoměrem na magneticko-indukčním principu. Měřicí přístroj ihned vyhodnotil chybu.

Tab. 13 Měření terče tloušťkoměrem

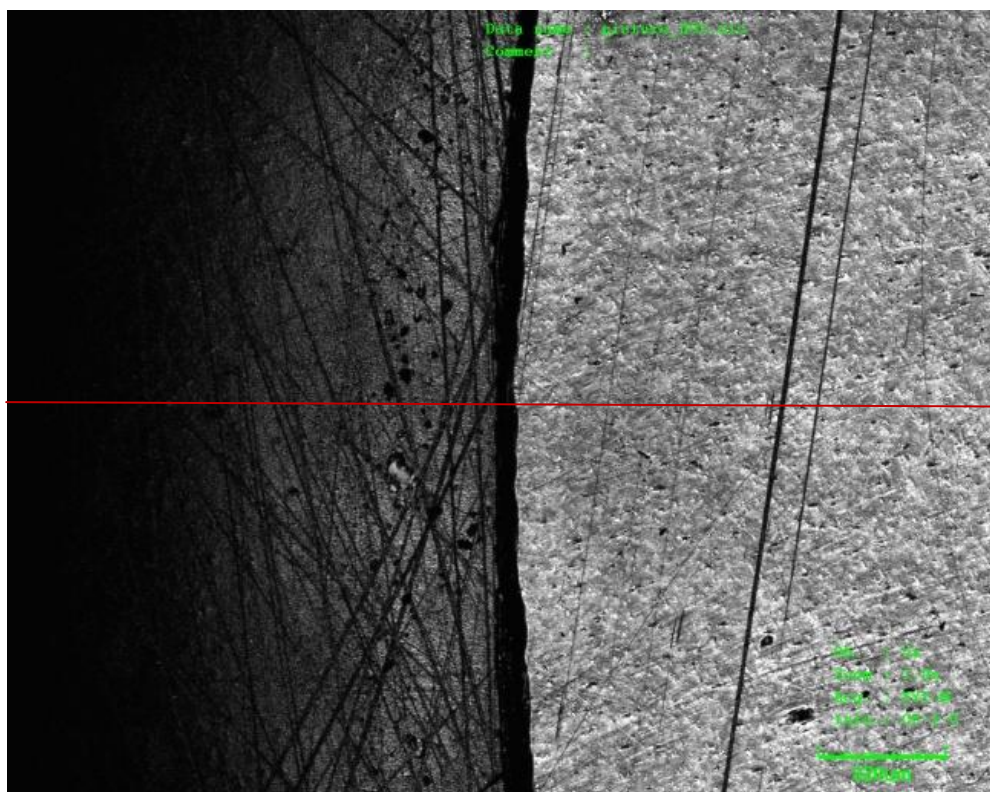
Tloušťkoměr	Štítek	Průměrná tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]
<i>Positector 6000</i>	1.	$78,4 \pm 0,8$
	2.	$78 \pm 0$
<i>Elcometer 456</i>	1.	$76,2 \pm 1,44$
	2.	$77,97 \pm 1,86$
Výsledná tloušťka štítku		$77,64 \pm 1,49 \mu\text{m}$

Změřená tloušťka se přiblížila požadované hodnotě  $80 \mu\text{m}$ , tudíž je možno tento styl měření použít při zjišťování tloušťky laku. Další kontrola štítku byla provedena mikroskopem.

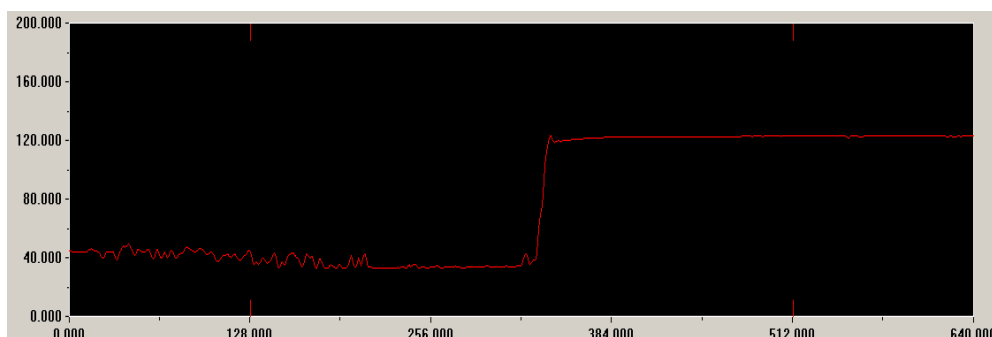
---

<sup>11</sup> Koheze – soudružnost materiálů

## Měření laserovým mikroskopem



Obr. 18 Snímek terče z mikroskopu – *LEXT 3000*



Obr. 19 Výškový profil terče

Z mikroskopem vygenerovaného výškového profilu a souřadnic bodů byla po změření tří terčů zprůměrována hodnota 80,5  $\mu\text{m}$ . S touto hodnotou je počítáno dále, díky vysoké přesnosti mikroskopu.

## Tloušťka laku

Měření bylo provedeno vždy desetkrát a přístroj okamžitě vyhodnotil možnou chybu. Hodnoty v tabulce již po odečtení tloušťky terče.

Tab. 14 Tloušťky laku

Předúprava	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
Podklad	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
<b>PS/PP</b>	30,5 $\pm$ 1,7	19,9 $\pm$ 0,7	24,8 $\pm$ 2	29,4 $\pm$ 0,9
<b>PC/ABS</b>	21,2 $\pm$ 1,1	20,9 $\pm$ 0,88	24,8 $\pm$ 0,7	27,5 $\pm$ 0,66
<b>PP1</b>	22,5 $\pm$ 1,1	18,9 $\pm$ 1,5	29,4 $\pm$ 1,5	23,1 $\pm$ 0,81
<b>PP2</b>	29,2 $\pm$ 1,3	23,7 $\pm$ 1,2	18,7 $\pm$ 1,9	21,4 $\pm$ 1,3
<b>ABS</b>	22,3 $\pm$ 1,4	24,5 $\pm$ 1,8	19,8 $\pm$ 0,9	19,8 $\pm$ 0,6
<b>PA</b>	25,7 $\pm$ 0,7	26,4 $\pm$ 2,1	18,5 $\pm$ 1,9	19,1 $\pm$ 1,2
<b>PBT/ASA</b>	26,3 $\pm$ 0,9	20,5 $\pm$ 1,12	24,1 $\pm$ 0,4	25,1 $\pm$ 1,1
<b>PC</b>	24,4 $\pm$ 1	21,6 $\pm$ 1	27,1 $\pm$ 0,6	24,3 $\pm$ 0,7

Tloušťky se lehce rozcházejí, vzhledem k lakování ruční pistolí, avšak pro zkoušky přilnavosti je rozptyl použitelný a je možné zvolit další metodiku dle příslušných norem. K snížení rozptylu tloušťek lze doporučit lakování robotem či na dopravníku za stálé rychlosti.

### 6.3.2 Vyhodnocení mřížkové zkoušky

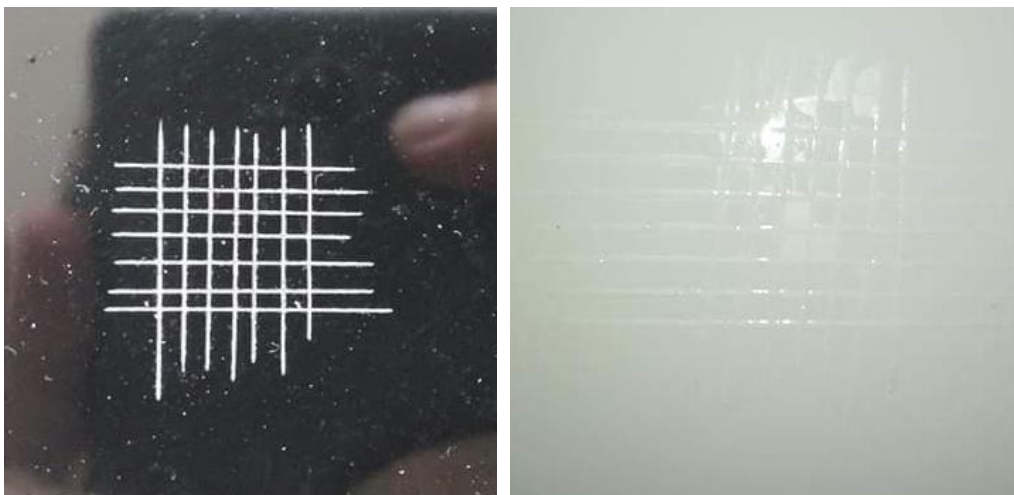
V tabulce uvedeny stupně přilnavosti dle vzhledu plochy po odtrhu pásky. (viz. tab. 11.)

Tab. 15 Vyhodnocení mřížkové zkoušky

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
<b>PS/PP</b>	3	3	1	1
<b>PC/ABS</b>	0	0	0	0
<b>PP1</b>	3	3	1	1
<b>PP2</b>	0	1	1	1
<b>ABS</b>	0	1	0	0
<b>PA</b>	0	0	0	0
<b>PBT/ASA</b>	1	0	0	1
<b>PC</b>	0	0	0	0

Následující obrázky (Obr. 20) zobrazují příklady konkrétních stupňů přilnavosti na zkoušených vzorcích.





Obr. 20 Mřížková zkouška - stupeň 0 (vlevo), stupeň 3 (vpravo)

### Zhodnocení

U materiálů PS/PP a PP1 upravovaných ožehem (značení 1 viz. bod 6.1.2.) a plazmou dotovanou pouze Ar nedosahovala vrstva potřebné přilnavosti. Ke zlepšení došlo po úpravě plazmou dotovanou Ar-N<sub>2</sub> (značení 3) nebo Ar-O<sub>2</sub> (značení 4). Ostatní materiály a na nich provedené předúpravy dosahovaly kvalitních výsledků 0 až 1.

### 6.3.3 Vyhodnocení zkoušky odtrhem

Tab. 16 Vyhodnocení zkoušky odtrhem

Předúprava	E1		E2		E3		E4	
Podklad	[MPa]	Popis	[MPa]	Popis	[MPa]	Popis	[MPa]	Popis
<b>PS/PP</b>	0,5	100% A/B	0,3	100% A/B	0,8	100% A/B	1	100% A/B
<b>PC/ABS</b>	1,39	100% A	1,58	100% A	1,73	100% A	1	100% A
<b>PP1</b>	0,2	100% A/B	0,1	100% A/B	0,92	100% A/B	0,9	100% A/B
<b>PP2</b>	0,8	100% A/B	0,3	100% A/B	0,87	90% A/B, 10% Y/Z	0,5	95% A/B, 5% A
<b>ABS</b>	1,3	90% A/B, 10% Y/Z	1,1	100% A/B	1,5	80% A/B, 20% Y/Z	1	90% A/B, 10% Y
<b>PA</b>	1	90% A/B, 10% Y	1,2	100% A/B	1,49	95% A/B, 5% Y	0,8	100% A/B
<b>PBT/ASA</b>	1,3	90% A/B, 10% Y	1,2	85% A/B 15% B/Y	0,87	95% A/B, 5% Y	1,4	90% A/B, 10% B/Y
<b>PC</b>	1,3	100% A/B	1,4	100% A/B	0,75	100% A/B	0,9	80% A/B, 20% Y/Z



## Komplikace

U materiálu PC/ABS došlo u všech odtrhů k porušení základního materiálu, tudíž změřené hodnoty neodpovídají přilnavosti laku na základní materiál. Přilnavost však lze považovat za dostačující.

## Zhodnocení

- Materiály PS/PP a PP1 - Patrně opět zlepšení v přilnavosti až po dotování plazmy Ar-N<sub>2</sub> nebo Ar-O<sub>2</sub>. V případě ožehu a plazmy s pouhým Ar docházelo k odlupování barvy.
- PP2 – Nejlepší výsledek při ožehu a úpravě plazmou – Ar-N<sub>2</sub>, avšak hodnota odtrhové síly nepřekročila 1 MPa.
- Materiály ABS, PA – Přilnavosti laku kvalitní u všech druhů předúpravy, nejlepší výsledek při plazmě – Ar-N<sub>2</sub>
- PBT/ASA, PC – Přilnavosti laku uspokojivé, avšak u předúpravy plazmou – Ar-N<sub>2</sub> došlo naopak k nejhoršímu výsledku cca 0,8 MPa.

Neuspokojivé výsledky všech možností předúpravy u materiálu označeného PP2 pravděpodobně způsobeny příměsí oranžového pigmentu do polymeru. Lze doporučit testování s jiným UV lakem.



Obr. 22 Ideální odtrh 100% A/B



Obr. 21 Porušení podkladu A

## 7 Ekonomické zhodnocení

### 7.1 Lakování

- Konvenční lak – cena  $6,5 \text{ €} \cdot \text{l}^{-1}$
- UV lak - cena  $16,2 \text{ €} \cdot \text{l}^{-1}$

Ačkoliv se cena za kilogram UV laku zdá být velmi vysoká, rozhodující je cena za metr čtvereční [ $\text{m}^2$ ] lakované plochy. Ve srovnání s běžnými nátěrovými systémy na bázi rozpouštědel nebo na vodní bázi vyznívají výrazně příznivěji ceny za metr čtvereční lakované plochy ve prospěch UV laků, což lze vysvětlit kromě možnosti recyklace i výrazně vyšším obsahem pevných částic a tím vyšší vydatností v  $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$  UV laku. [11]

#### Ukázka na zjednodušeném příkladu

Je nanesena stejná tloušťka povlaku stejnou technologií. Platí-li, že 1 litr laku vytvoří  $20 \text{ m}^2$  mokrého filmu o šířce  $50 \text{ } \mu\text{m}$ , poté při přepočtu na suchý film o stejné tloušťce je nutné provést korekci na obsah sušiny.

- Konvenční lak - celkový obsah sušiny 32,62 %  
1 litr laku tedy vytvoří  $6,524 \text{ m}^2$  suchého filmu
- UV lak - celkový obsah sušiny 100 %  
1 litr laku tedy vytvoří opravdu  $20 \text{ m}^2$  suchého filmu

Jednoduchým výpočtem jsou získány celkové náklady na  $\text{m}^2$  při tloušťce suchého filmu  $50 \text{ } \mu\text{m}$ :

- $0,99 \text{ €} \cdot \text{m}^{-2}$  u laku konvenčního
- $0,81 \text{ €} \cdot \text{m}^{-2}$  u UV laku

Rozdíl je 18 % ve prospěch UV laku. To se týká pouze úspory materiálových nákladů. Další výrazné úspory jen bodově:

- úspora finančních nákladů v energii při vytvrzování
- snížené nebo žádné náklady na ředidlo
- náklady na likvidaci
- recyklovatelnost přestříku UV laku [11]
- nižší prostorové nároky

## 7.2 Použité předúpravy

Jelikož použité předúpravy prokázaly srovnatelné výsledky, lze zhodnotit jejich finanční nákladnost, technologičnost a flexibilitu použití. **Úprava ožehem** se provádí jednoduchým zařízením s plamenem na hlavici dotovaným zemním plynem, který se zažehne elektricky. Zařízení není prostorově ani technicky náročné a lze jej použít v ručním provedení nebo na robotickém rameni u linky. Úprava ožehem je flexibilní a použitelná ve více průmyslových odvětvích. Dále se nabízí zhodnocení ceny a nákladů na provoz zařízení a tím použité plyny a hodnota jejich průtoku. Jedná se o vzduch (cca  $70 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ) a zemní plyn, jehož cena za  $\text{m}^3$  je asi 15 Kč a nutný průtok je  $12 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Cena použitého zařízení od firmy *Aerogen* je 295 000 Kč. V této ceně je zařízení pro míchání plynů, ruční pistole, systém elektrod pro zažehnutí a hadice. Ceny poskytla firma *Aerogen* vývojovému pracovišti *Galatek*, avšak částky za jednotlivé komponenty zařízení pro ožeh není známá.

Zařízení pro **úpravu plazmatem** je složitějšího provedení, je nutné zajistit odsávání nežádoucích plynů v místě plazmatické trysky, její zažehnutí a následný přívod plynů pro dotování procesu. Částky za části použitého experimentálního zařízení poskytla firma *Galatek*:

- plazmová tryska 40-80 000. Kč (dle velikosti a složitosti)
- regulovatelný generátor *Cesar 136RF* v ceně 150 000 Kč
- přístroj na předionizaci plazmové trysky - cca 30 000 Kč.
- průtokoměry a hadičky k plynům za 10 000 Kč.
- impedanční přizpůsobovací člen - cca 40 000 Kč

Po sečtení částek se cena stěžejních částí stroje pohybuje okolo 310 tisíc, která je srovnatelná se zařízením na úpravu ožehem. Zařízení lze v průmyslovém provedení také připevnit na robotické rameno pro upravování tvarově náročnějších předmětů, nebo připevnit u posuvného pásu. Při zhodnocení průtoku je důležitý argon, který dotujeme  $50 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  u všech typů plazmatu a na trhu je v ceně  $86 \text{ Kč} \cdot \text{l}^{-1}$ . Nejlepších výsledků bylo dosaženo při dotování dusíkem ( $46 \text{ Kč} \cdot \text{l}^{-1}$ ) a kyslíkem, který stojí  $60 \text{ Kč} \cdot \text{l}^{-1}$ . Zařízení je opět použitelné v mnoha aplikacích. Jako velké plus proti předúpravě ožehem je možnost optimalizace procesu pro konkrétní, zákazníkem zadanou zakázku, díky nastavení kombinací plynů a různých průtoků.

## 8 Závěr

Ekonomické výhody, technologičnost a možnosti použití výrazně nahrávají lakům vytvrzovaným UV zářením. Při zhodnocení procesu lakování polymerů je nutno vzít v potaz jejich nedokonale prozkoumané vlastnosti na všech podkladech. Je nutné důkladně ověřit kvalitu konkrétního laku v dané aplikaci na vybraném polymeru. K tomuto účelu lze doporučit různá vývojová pracoviště, kde lze provést testování a vyhodnocení nejvhodnějšího laku, parametrů vytvrzení a nejvhodnější předúpravy. Po optimalizaci tohoto procesu hovoří vše ve prospěch UV laků a i proto se jejich rozsah použití v dalších odvětvích bude nadále rozšiřovat.

Předúprava se potvrdila jako stěžejní proces při lakování. Základem by mělo být odmaštění, pro odstranění chemického znečištění. Před úpravou ožehem také nezbytný ofuk ionizační pistolí, který odstraní prachové částice a neutralizuje statickou elektřinu polymeru. Při předúpravě ožehem se těžko zaručuje rovnoměrná úprava plamenem, jelikož procedura byla prováděna ručním nástrojem, avšak výsledná adheze byla přijatelná a dala se považovat za referenční vůči úpravě plazmatem. Plamen však nebyl dostatečně šetrný k upravovanému polymeru. Tenčí vzorky měly tendenci se deformovat vlivem žáru, proto by bylo vhodné úpravu aplikovat pouze na robustnější díly. V tomto ohledu lze doporučit úpravu plazmatem, u které podobný problém nenastal, díky nízké teplotě plazmatu, a i v porovnání kvality přilnavosti předúprava obstála vůči ožehu. Bylo možné vynechat ofuk ionizační pistolí (cena za ruční zařízení cca 30 tis. Kč), jelikož díky dotaci povrchu ionty z plazmy dojde k neutralizaci statické elektřiny též. Další výhodou úpravy plazmatem byla linka s regulovatelným posuvem vzorků, nastavitelnou vzdáleností plazmatické trysky, ale především možností přivést kombinaci plynů s upravitelným průtokem do plazmatu a tak optimalizovat proces pro konkrétní aplikaci. Při vyhodnocení zkoušky odtrhem a zkoušky mřížkové, kvůli zjištění adheze povlaku, nejlépe obstál plazmat s přivedenou kombinací argonu s dusíkem nebo kyslíkem, který zaručil nejlepší přilnavost (klasifikace 0 u zkoušky mřížkové) na většině testovaných vzorcích.

Při ekonomickém zhodnocení bylo zjištěno, že cena kyslíku je lehce vyšší. Výsledky přilnavosti byly srovnatelné, tudíž je možno upřednostnit kombinaci Ar-N<sub>2</sub>. Přes všechny výhody je cena za pořízení i provoz průmyslového stroje pro předúpravu plazmatem vyšší. Zařízení na úpravu ožehem není tak komplexní a náročné na údržbu. Provoz je méně nákladný, díky dotaci levnějšími plyny a možností obsluhy i méně

zkušeným zaměstnancem, proto lze úpravu doporučit na aplikace s nižšími požadavky na kvalitu lakování. Plazmatická předúprava může v mnoha aplikacích nahradit často nešetrnou úpravu ožehem, především pak v povrchových úpravách plastů, avšak je nutno zhodnotit požadavek na kvalitu lakování a výši investice za plazmatické zařízení a její návratnost.

Jak již bylo zmíněno, úspěšnost lakování ani po předúpravě nebyla u všech vzorků stoprocentní. Především u materiálu označeného PP2 nenastalo zlepšení adheze po žádné z předúprav. Lze tak předpokládat, že na kvalitu a adhezi povlaku má velký vliv chemické složení upravovaného polymeru. Proto je nutné sledovat doporučené postupy a podklady dané výrobcem a i poté ověřit vlastnosti povlaku, jelikož i doporučený polymer může mít nežádoucí příměsi a povlak opět ovlivnit.

## Citované zdroje

- [1] BARTOŠ, Petr. *Využití plazmových procesů v oblasti úpravy povrchu materiálů: habilitační práce*. Praha, 2011. Habilitační práce (Doc.). ČVUT, Praha.
- [2] MOROVÁ, Iva. *Progresivní technologie povrchových úprav: 16. seminář [Praha 28. a 29.11.2000] : [sborník přednášek a prezentací firem]*. 1. Praha: ČVUT, 2000.
- [3] LUKAVSKÝ, Ladislav, Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. *Nátěrové hmoty. 2. díl*. 2. uprav. vyd. Praha: Merkur, 1993. 351 s. ISBN 80-7032-313-2.
- [4] LOUDA, Petr. *Plazmová povrchová úprava nanovláčených polymerních struktur*. MM Průmyslové spektrum. Praha:Europa, 2016, 54, 124, ISSN: 1212-2572
- [5] KREIBICH, Viktor. *Povrchové úpravy*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1981. 149 s. Učební texty VŠ, ČVUT - fak. strojní.
- [6] LUKAVSKÝ, Ladislav, Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. *Nátěrové hmoty. 1. díl*. 3. uprav. vyd. Praha: Merkur, 1993. 250 s. ISBN 80-7032-301-9.
- [7] POPELKOVÁ, Alena. *Předúprava*. Servis centrum[online], Brno:2016 [cit. 3.8.2016]. Dostupné z: <http://www.scrnoblog.projekty4g.cz/preduprava/>
- [8] ABRAHAMOVA, Jitka. *Všeobecná encyklopedie v osmi svazcích*. 1. vydání. Praha: Diderot, 1999. 493 s. ISBN 80-902555-2-3.
- [10] *Galatek a.s. Firemní magazín*. č 25. Ledec nad Sázavou: Galatek a.s.,2012
- [11] SCHWALM, Reinhold. *UV coatings: basics, recent developments and new application*. Amsterdam: Elsevier, 2007. ISBN 9780444529794.
- [12] LUCKÝ, Marek. *Podnikatelský záměr firmy Lankwitzer Lackfabrik*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Mendelova univerzita.
- [13] MOKROŠ, Martin. *Aplikace laků vytvrzovaných UV zářením a možnosti jejich průmyslového využití*. Transfer, 2014, roč. 2014, č. 22, s. 18-22. ISSN: 1801-9315.
- [14] ISO 2409:2013. *Paints and varnishes: Cross-cut test*. 4. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2013.
- [15] ISO 4624:2016. *Paints and varnishes: Pull-off test for adhesion*. 2. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2016
- [16] CHAN C.-M., HIRAOKA H.: *Polymer surface modification by plasmas and photons: Surface Science Reports* [online], Hong Kong:2001, 1-54, [cit. 3.8.2016]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167572996800033>
- [17] MIKUŠOVÁ, Beáta, Jaroslav BAUMRUK. *UV záření* [online]. Praha: Státní zdravotní ústav, 2013 [cit. 9.8.2016] Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/czzp/edice/plne\\_znani/plakaty/uv\\_zareni.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/czzp/edice/plne_znani/plakaty/uv_zareni.pdf)
- [18] Gamin. *Digitální tloušťkoměry Elcometer 456* [online]. Ostrava ,2008 .[cit. 12.7.2016]. Dostupné z: <http://www.gamin.cz/soubory/848.pdf>.

- [19] Lakovna Salum. *Lakování plastů* [online]. Český Brod , 2011 .[cit. 9.8.2016]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/24-salum-lakovani-plastu-cast-1>
- [20] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery:učebnice*. Svitava 16. 6. 2015. ISBN 978-80-88058-68-7
- [21] Aerogen. *Flame treatment* [online]. Alton (UK), 2016. .[cit. 7.8.2016]. Dostupné z: <http://www.aerogen.co.uk/>
- [22] TENDERO, C. *Atmospheric pressure plasmas: A review*. Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy, 2006. 61: s. 2-30.
- [23] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav polymerních materiálů, 2003. ISBN 80-7194-555-2.
- [24] BARTOŠ, Petr. *Nízkoteplotní plazma a jeho využití v oblasti technologií povrchových úprav materiálů: Low-temperature plasma and its utilization in surface engineering of materials*. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05165-8.
- [25] ISO 2808:2007. *Paints and varnishes: Determination of film thickness*. 4. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2007.
- [26] LONTECH - Surface treatment. *Ionizační pistole* [online]. Pardubice, 2013. [cit.5.8.2016].Dostupné z: <http://www.lontech.cz/ionizacni-pistole.html>
- [27] Gamin. *Digitální odtrhoměr Elcometer 506* [online]. Ostrava ,2013 .[cit. 12.7.2016]. Dostupné z: <http://www.gamin.cz/soubory/1562.pdf>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Srovnání vlastností laků [12] .....	9
Obr. 2 Tunelová vytvrzovací kabina[11] .....	14
Obr. 3 Plazmový oblouk .....	20
Obr. 4 Smáčenlivost [19] .....	22
Obr. 5 Vzorek z materiálu ABS .....	25
Obr. 6 Všechny vzorky .....	25
Obr. 7 Zařízení pro modifikaci plazmatem .....	26
Obr. 8 Hlavice zařízení pro úpravu ožehem od firmy <i>Aerogen</i> .....	27
Obr. 9 Ožeh a úprava vzorků ionizační pistolí .....	28
Obr. 10 Lakovací kabina .....	30
Obr. 11 Lakování vzorků vzduchovou pistolí .....	30
Obr. 12 UV lampa na robotickém rameni .....	31
Obr. 13 Tloušťkoměr - <i>Elcometer 456</i> .....	32
Obr. 14 Terč nalepený na vodivý povrch kovové desky .....	32
Obr. 15 Mřížková zkouška [14] .....	34
Obr. 16 Odtrhoměr - <i>Elcometer 506</i> .....	36
Obr. 17 Nalepení odtrhových hlavic .....	36
Obr. 18 Snímek terče z mikroskopu – <i>LEXT 3000</i> .....	38
Obr. 19 Výškový profil terče .....	38
Obr. 20 Mřížková zkouška - stupeň 0 (vlevo), stupeň 3 (vpravo) .....	40
Obr. 21 Porušení podkladu A .....	41
Obr. 22 Ideální odtrh 100% A/B .....	41



## Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti různých druhů laků [11] .....	8
Tab. 2 Dělení ultrafialového záření [17].....	15
Tab. 3 Značení vzorků .....	25
Tab. 4 Použité předúpravy .....	26
Tab. 5 Specifikace předúpravy plazmou.....	27
Tab. 6 Specifikace ožehu .....	27
Tab. 7 Parametry laku .....	29
Tab. 8 Specifikace lakování.....	30
Tab. 9 Specifikace vytvrzení .....	31
Tab. 10 Výběr mřížky [14] .....	33
Tab. 11 Hodnocení mřížkové zkoušky [14].....	35
Tab. 12 Hodnocení odtrhové zkoušky[15] .....	37
Tab. 13 Měření terče tloušťkoměrem .....	37
Tab. 14 Tloušťky laku.....	39
Tab. 15 Vyhodnocení mřížkové zkoušky .....	39
Tab. 16 Vyhodnocení zkoušky odtrhem .....	40